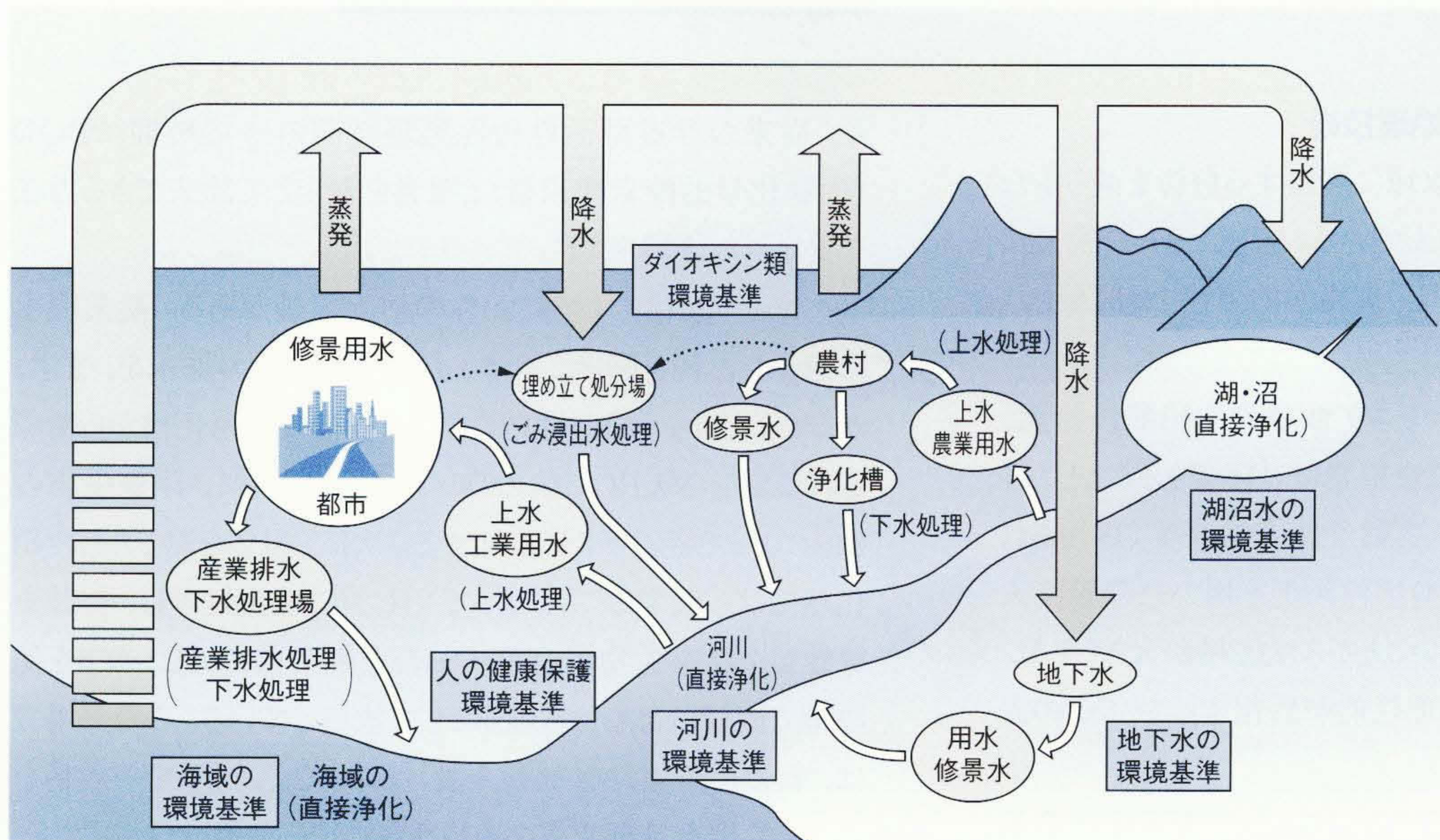


河川・湖沼の環境改善を担う水処理技術

Water Treatment Technologies for Improving Environments

宮坂 邦夫 Kunio Miyasaka
小島 正行 Masayuki Kojima

高本 成仁 Shigehito Takamoto
佐保 典英 Norihide Saho



水循環と水処理技術

水循環を良好に維持することにより、親水や景観を通して豊かな生活活動空間を実感することができる。日立グループは、水環境の改善を担うさまざまな水処理技術により、各分野での社会ニーズに合わせたトータルソリューションを提案している。

公共用水域の水質汚濁の状況を示す水環境基準の達成率は、1999年全体で78.7%〔COD(化学的酸素要求量)またはBOD(生物化学的酸素要求量)〕であり、閉鎖性水域での達成率は依然として低い。水循環を促進させるためにも、良好な水環境が望まれている。

わが国は、閉鎖性水域での水質改善を図るため、CODだけでなく、窒素とリンも対象に削減を目指す総量規制を行い、現在、第5次水質総量規制を検討中である。これは、海水域での赤潮の発生や、淡水域でのアオコや淡水赤潮の発生に対応した処置である。一方、水の安全性の観点からダイオキシン類の水質汚濁にかかわる環境基準が定められ、公共用水域と地下水に適用されている。これらの動向に対応するために、

下水道を含む排水処理では、有機物の負荷をさらに低減する処理技術や、窒素・リン除去を効率的に行う高度処理対応技術の適用が具体的になってきている。また、廃棄物の埋め立て処分場でのごみ浸出水処理には、ダイオキシン対策技術が要求されてきている。さらに、閉鎖性公共用水域では、アオコなどを除去する直接浄化法が要望されてきている。

日立グループは、これらのニーズにこたえるため、各分野や状況に応じたニーズに合わせた水処理技術を開発し、納入してきている。今後、水環境の改善に寄与する新技術開発の適用も含め、「ベストミックス・トータル・ソリューション」を目指し、顧客にとって適切な水処理システムの提案を行っていく。

1 はじめに

水循環には、海洋から蒸発した水が降水として地下水や地表水として動く「大きな自然の水循環」と、人々が生活する空間の中で浄水や用水として利用し、下水道や産業排水として処理される「小さな水循環」がある。

生活空間が拡大した現在は、さまざまな所で水環境の改

善が必要になってきている。大きな水循環を構成する地下水までもが硝酸性窒素によって汚染され、これに対する発生源対策と処理対策が並行して進められるようになってきている。

これらの動きの中で、水質汚濁発生源である下水処理場や産業廃水処理施設などの水処理施設では、有機物の除去はもちろんのこと、栄養塩類の除去技術が提案され、実用化されてきている。さらに、水の安全性の観点から、ダイオキシンなども除去対象になってきている。海域や河川・湖沼など

では、赤潮やアオコの発生に見られるように、水環境の改善は進んでいるとは言えない状況であり、直接浄化技術が考えられている。

ここでは、水環境改善を担う、日立グループの新しい水処理技術について述べる。

2 排水処理技術の状況

2.1 排水処理分野での水処理技術

排水処理分野では、公共水域に排出する負荷を減らすための高度処理技術開発が進んでいる。窒素とリンの除去法としては、「物理化学的方法」と「生物学的方法」が開発されてきた。

窒素除去については、アンモニア性窒素や硝酸性窒素、さらに有機体窒素などさまざまな窒素に対応できることと、経済的であるなどの理由により、生物学的方法が多く採用されてきた。しかし、従来の浮遊型活性汚泥を用いた窒素除去方法では、(1)反応時間が長いことから反応槽が大きくなること、(2)冬期の低水温時に処理性能が悪化することなどの課題があった。

これらの課題を解決する手段として、水処理水中の有機物や窒素・リンをさらに効率よく除去する手法が求められている。それらの代表的手法として、担体を用いる水処理技術である「ペガサス」と、「バイオスチル」について以下に述べる。

2.2 排水高度処理技術「ペガサス」

窒素除去に寄与する微生物濃度を高め、処理時間の短縮を図ることを目的に、微生物の住みかとして、高分子含水ゲルから成る「担体(ポリエチレングリコール系樹脂)」を開発した。1994年に福岡県宗像市の下水高度処理に採用され、生物反応槽の好気槽に担体を添加する方式(ペガサス)によ

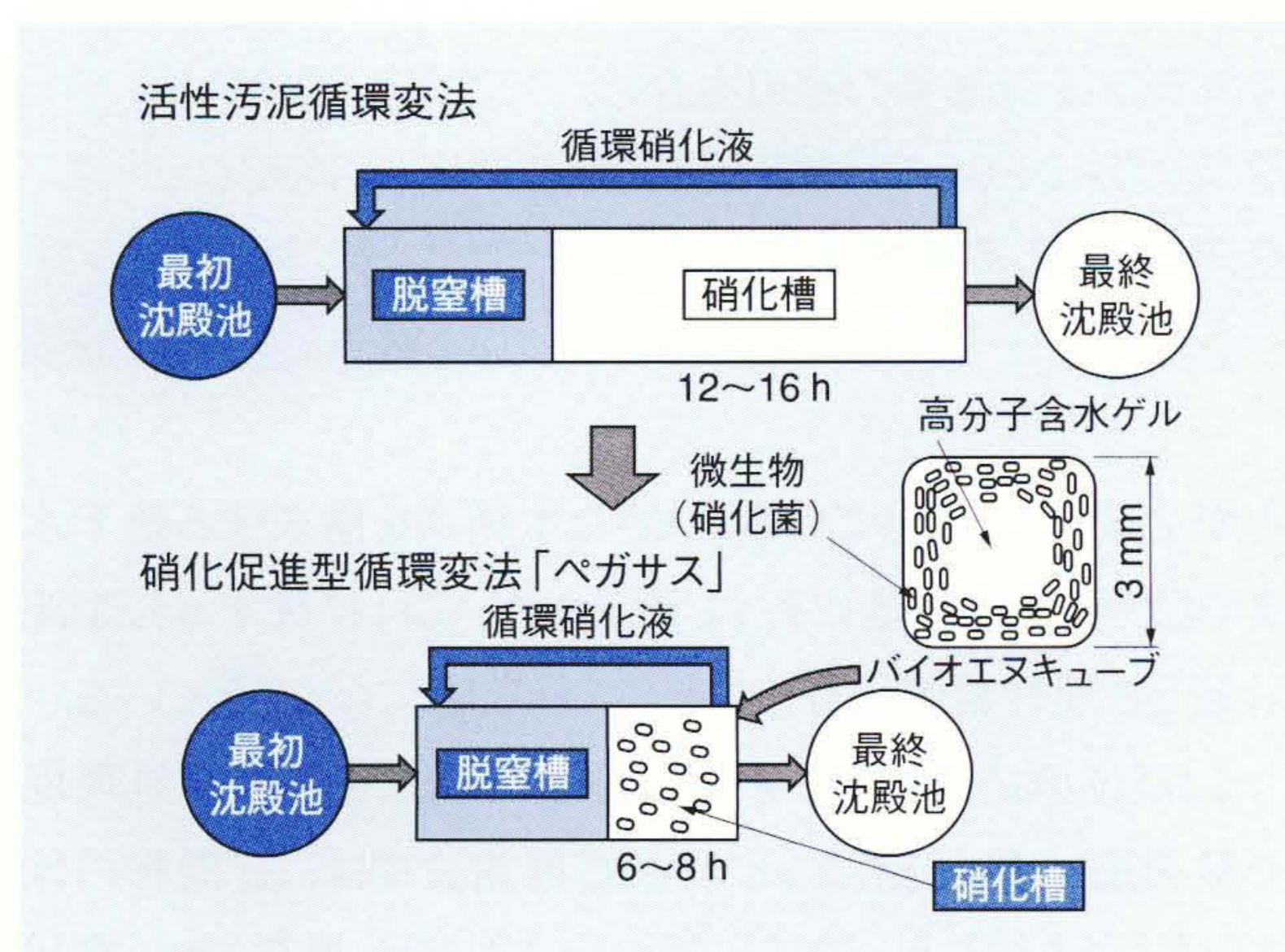


図1「ペガサス」の概要

微生物を高濃度に保持した担体(バイオエヌキューブ)を反応槽に添加することにより、反応時間を従来の $\frac{1}{2}$ に短縮する。

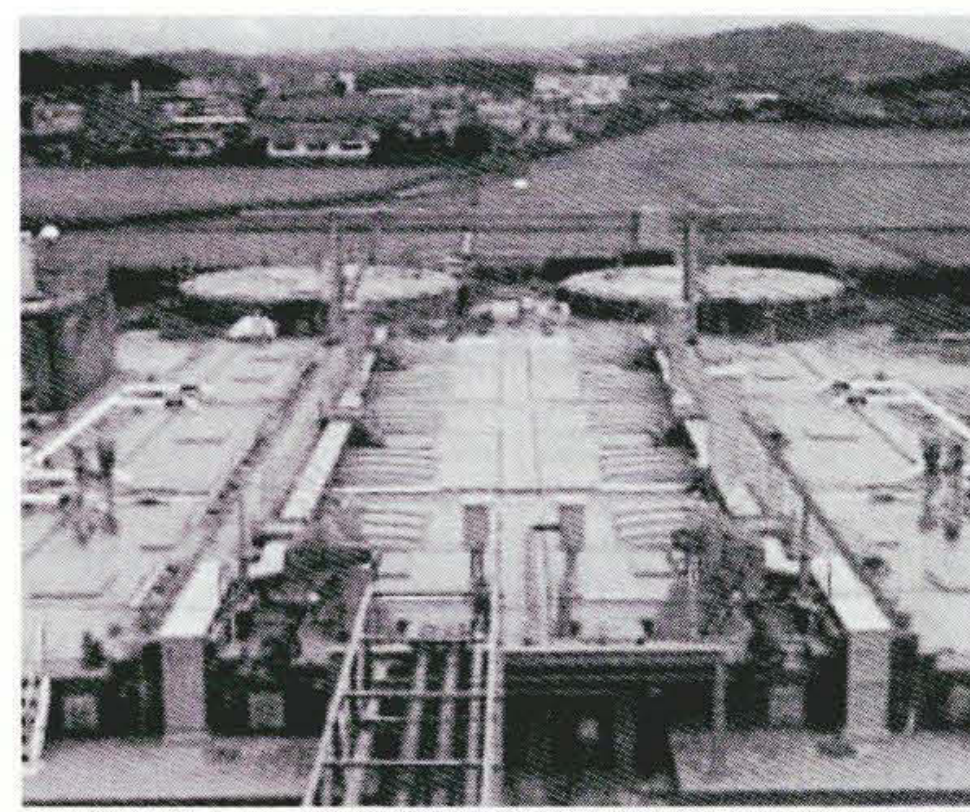


図2「ペガサス」の設置例

既設の下水処理施設を増設することなく、BOD・N・Pの高度処理を可能にした。

り、従来の浮遊型活性汚泥処理時間の $\frac{1}{2}$ の時間でBOD(生物化学的酸素要求量)と窒素を安定して除去できる方法を実証した(図1参照)。

ペガサスには、すでに20件の納入実績がある。産業廃水に適用した例を図2に示す。日量1,870 m³の廃水を、まず、かくはんだけを行う脱窒槽に投入し、後段の硝化槽から循環されるNO₃-NをBOD値の高い流入水とともに、浮遊生物の働きによって窒素ガスに添加する。次に、担体を充てんした硝化槽でばっ気することによってNH₄-Nに酸化処理し、担体を分離した浮遊生物混合液の一部を脱窒槽に戻し、残りを沈殿地で固液分離し、処理水として放流している。この工場では、新たに窒素除去施設を設けることなく、今までの設備を改造して排水目標水質を満足する処理を実現している。

2.3 生物処理装置「バイオスチル」

バイオスチルは、反応槽に浮上汙材を浸漬充てんし、有機物のほか、窒素も生物学的に除去する生物処理装置である。汙材は、発泡樹脂製の、平均径が約3.6 mmの粒状である。比重が0.04～0.05と非常に軽く、反応槽内に浸漬させると強い浮力で密な汙過層(汙層)を形成する。汙材の表面には微生物が付着保持され、生物膜が形成される。この生物膜によって反応槽内の微生物濃度を高めることができ、特に、増殖速度の遅い硝化細菌濃度を高く維持することができる(図3参照)。

バイオスチルでは、上向きで汙層を通過させ、上部から処理水を得る。散気を汉層の中間から行うことで汉層を好気と無酸素の雰囲気とに区分し、好気部通路の間に主にアンモニア性窒素の硝化を行い、この硝酸性窒素を含む処理水を循環して再び無酸素部へ流入させることにより、脱窒を行う。こ

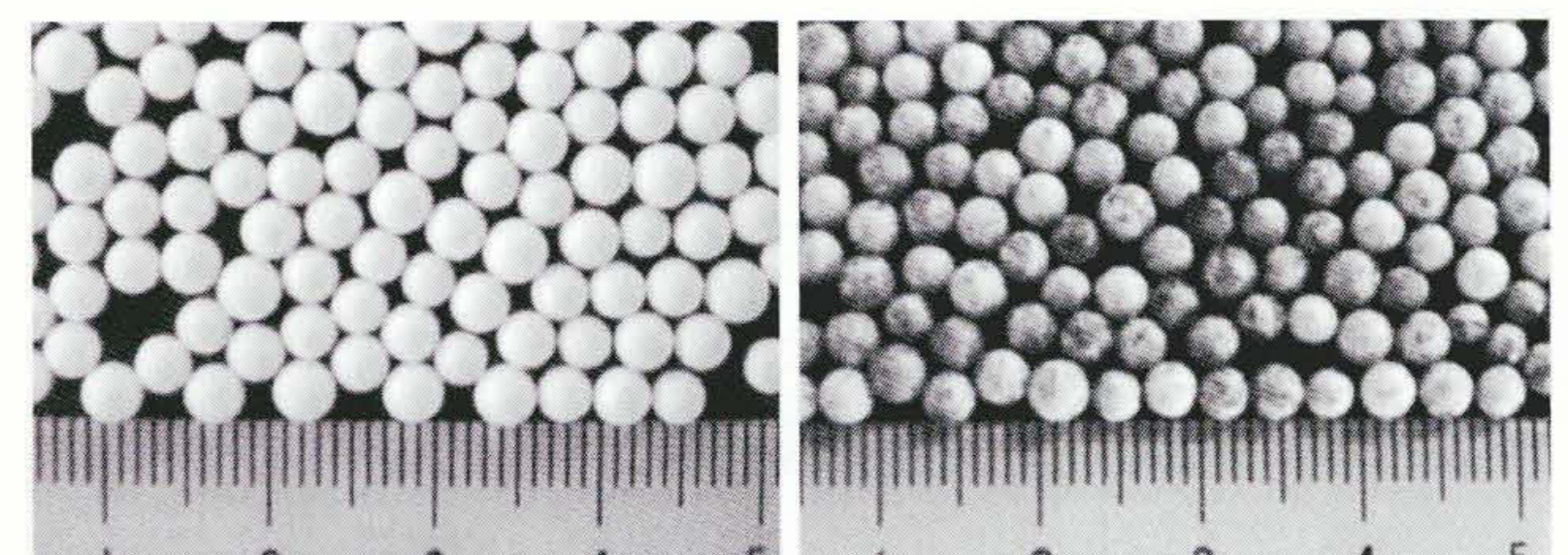


図3 汉材の外観(左)と使用汉材

汉材は、発泡樹脂製で平均径3.6 mm、かさ比重0.04～0.05であり、この表面に生物膜が形成される。

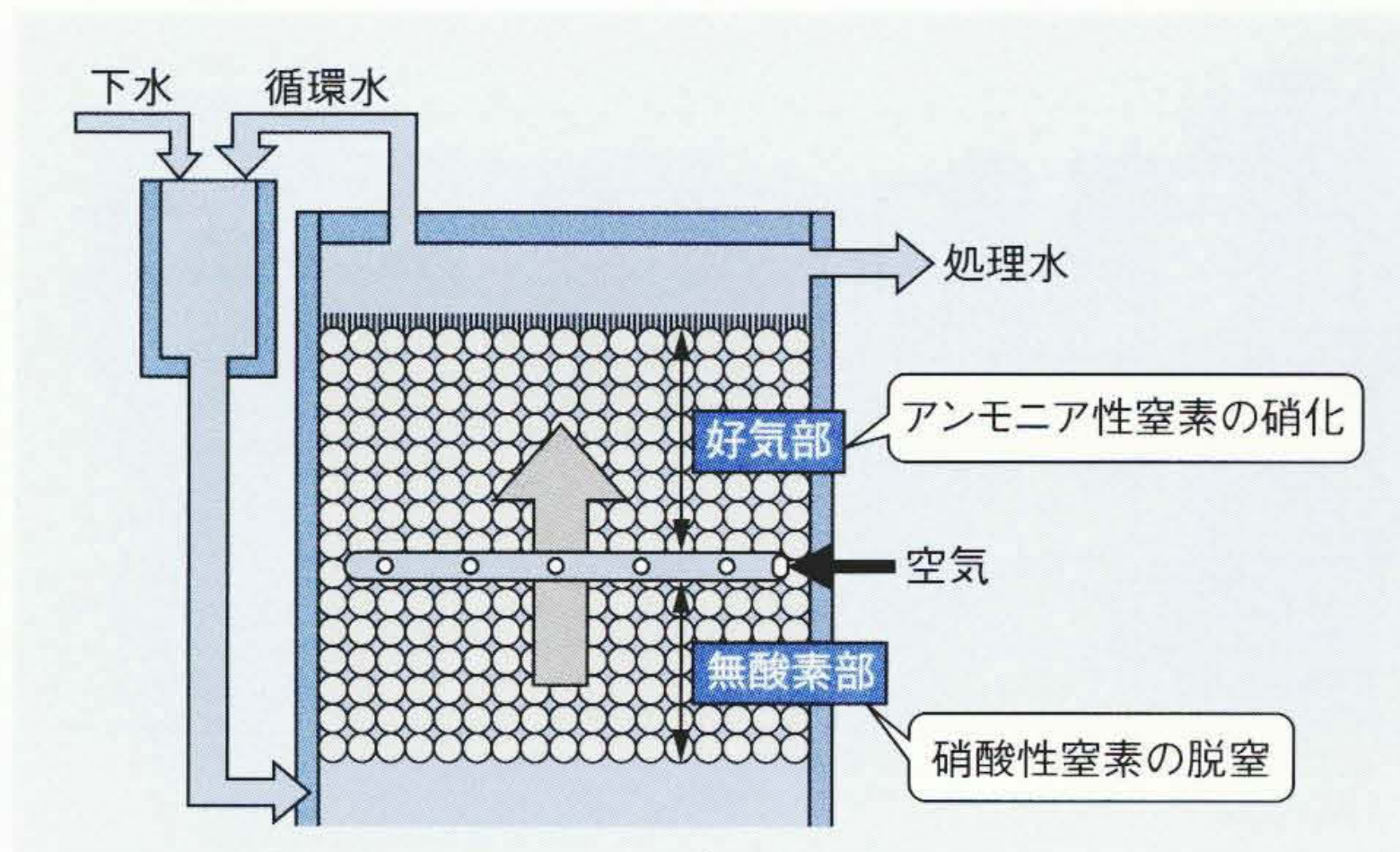


図4 バイオスチル処理機能の概要

一つの水槽で、窒素の除去ができる。

のとき、下水中の有機物を脱窒に必要な水素供与体として有効利用し、除去する。また、浮遊物質は汙層に捕そく、除去される。このように、バイオスチルでは、単一槽で、有機物、浮遊物質、および窒素を同時に除去することができる（図4参照）。

汙槽高さ3 m（好気部2 m，無酸素部1 m），汉過速度25 m/d（滞留時間で約3時間）の条件で反応槽に通水した場合の、実下水に対する実証実験で得た処理性能は以下のとおりである。

(1) 有機物(BOD)除去性能

反応槽へ流入する下水（最初沈殿地の越流入）のBOD濃度が約120 mg/L以下に対して、処理水のBOD濃度は10 mg/L以下である。このとき、除去率は90～95%程度である。通常の下水处理では、処理水SS（Suspended Solid：懸濁物）濃度は10 mg/L以下となる。

(2) 窒素(T-N)除去性能

T-N除去率は、およそ60～80%が得られる（図5参照）。

2.4 浸漬平膜装置

廃水処理設備には、常に低コスト、省スペース、メンテナンスの低減が強く望まれている。膜処理技術は、沈殿と汉過の工程を一つの操作で対応できるので省スペースであり、固形物の性状に影響せずに固液分離を確実にこなせることから、専門技術者による運転が不要であるなどの利点を持っている。日立グループは、これらの膜技術の利点を十分に生かせる「浸漬平膜装置」を開発した。この装置の膜エレメントはシート状の孔径0.4 μmの精密汉過膜を10枚束ねた構造で、1膜エレメント当たりの膜面積は20 m²となっている（図6参照）。

この膜エレメントを水槽内に設置し、処理水側から汉過ポンプの吸引圧で汉過を行う。また、膜エレメント下部から洗浄用の空気を供給し、膜の閉そく防止を図っている。この装置は膜エレメントにケーシングがなく、シンプルな構造であり、小さい汉過圧力で処理ができることから、コストの低減が図れる。

この装置は電子工業工場、発電所、研究所、食品工場などの廃水処理や、ビルの中水処理に採用され、現在まで10

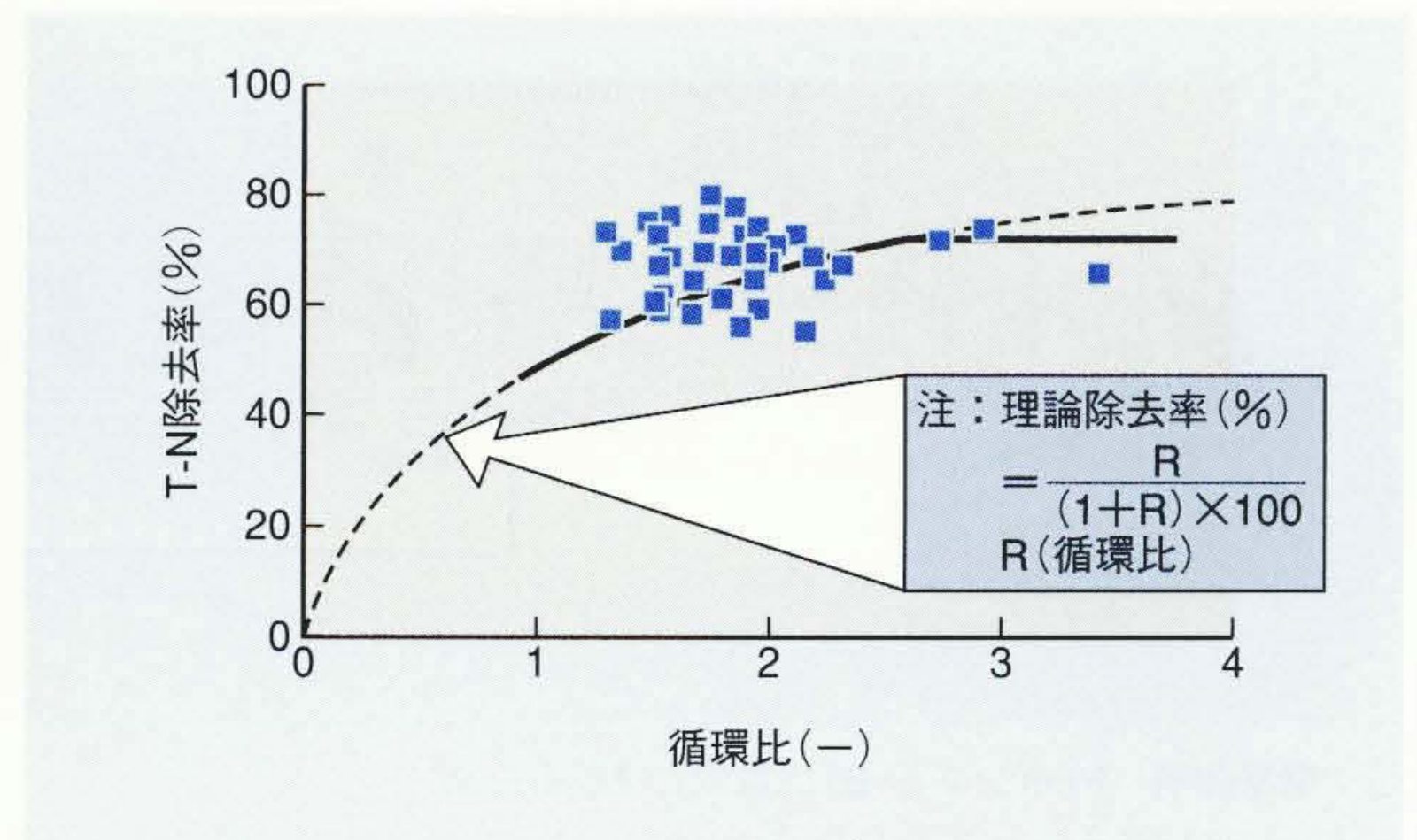


図5 循環比とT-N除去率

ほぼ理論通りのT-N除去率が得られる。

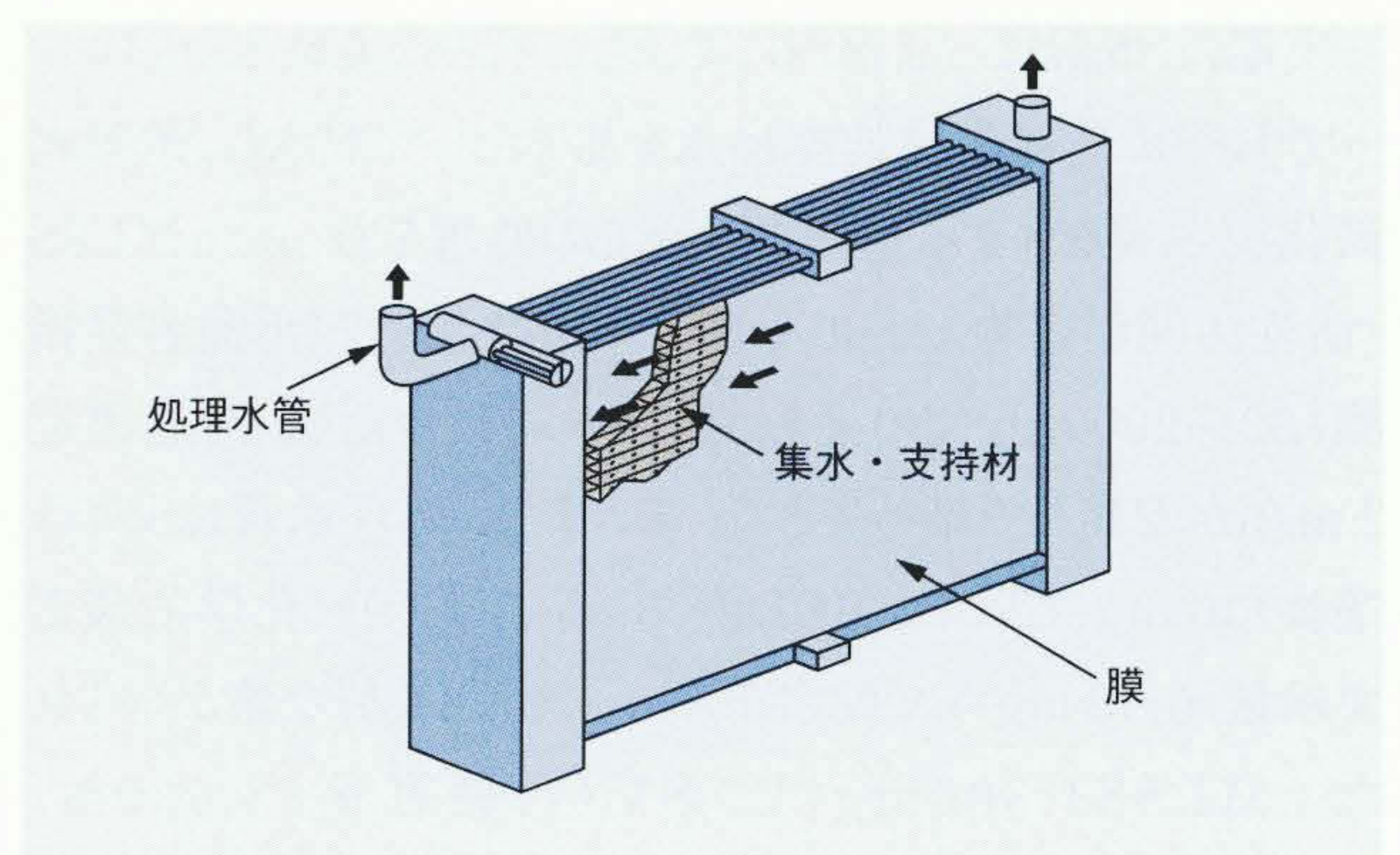
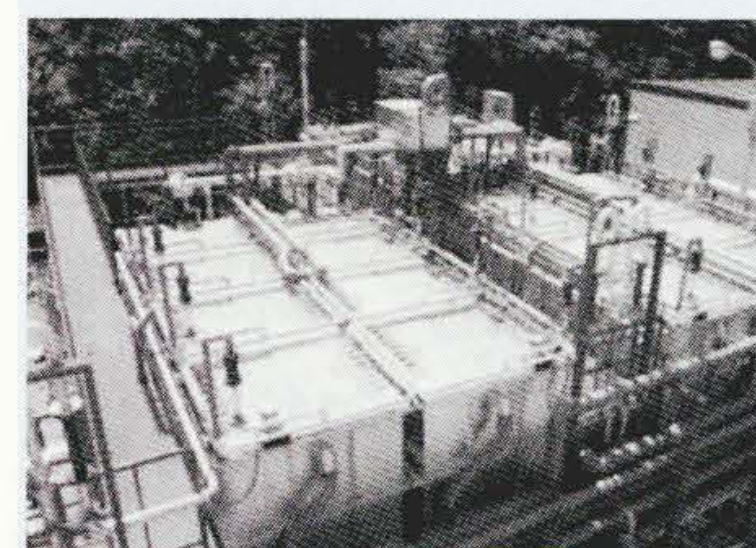
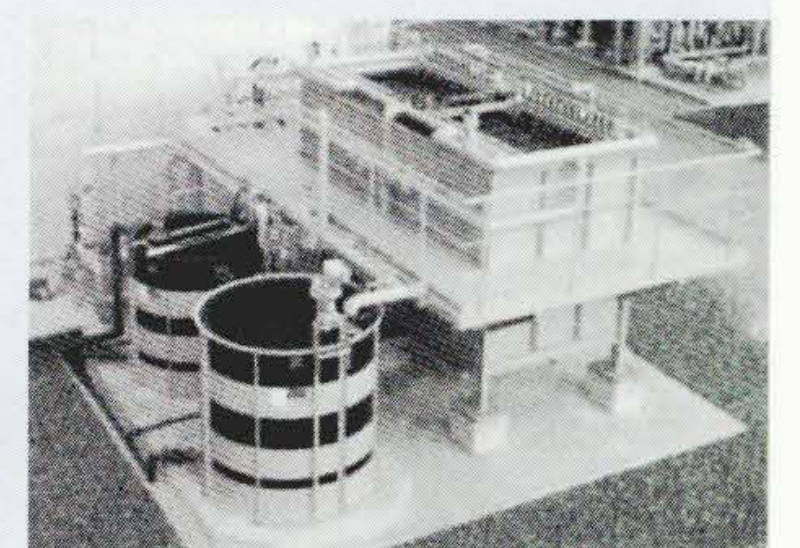


図6 膜エレメントの構成

エレメントを立体的に組み合わせることで、省スペースの膜分離装置が提供できる。

エレメント		モジュール	
膜の種類	MF膜	エレメント数	10エレメント
膜の材質	ポリオレフィン系	膜面積	200 m ²
膜面積	20 m ²	寸法（縦×横×高さ）	1,560×1,680×1,800（mm）

(a) 処理能力：1,800 m³/d(b) 処理能力：200 m³/d

注：略語説明 MF（Microfiche）

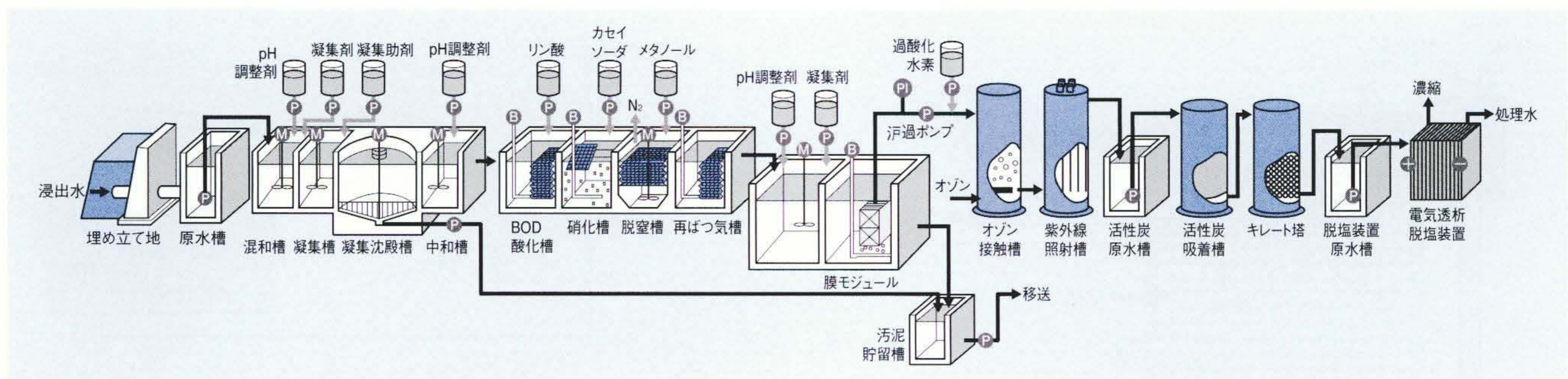
図7 浸漬平膜装置の標準仕様と適用例

膜分離によって安定して良好な処理水を得ている。

装置が稼動している。最大規模の装置は1,800 m³/dである。また、下水処理場への適用も進めている（図7参照）。

2.5 ダイナミック汉過

活性汚泥粒子を通過させる目開きの粗い不織布（目開き：約150 μm）から成る汉過ユニットをばっ気槽に浸漬配置し、不織布表面に緩やかなダイナミック汉過層を形成させて固液分離する技術である。不織布表面に形成した汚泥粒子層はしだいに圧密化するので、ダイナミック汉過層が形成されない



注：略語説明 P(ポンプ)、B(ブロー)、M(モーター)

図8 浸出水高度処理システムの構成

物理化学および生物処理方法を組み合わせて、ダイオキシンをはじめ有機物・窒素などを排水基準以下に除去している。

速いクロスフローで洗浄し、再生操作に利用する。

実際に、既設ばつ気槽内に浸漬して行った実験と、パイロットプラントに最初沈殿地流出水を原水として取水し、循環式硝化脱窒運転+ダイナミック汙過での処理を行った。MLSS(活性汚泥浮遊物)2,800~4,000 mg/L, SVI(汚泥容量指標)80~200 mL/gの運転で約5か月にわたり、汙過流速2 m/dが安定して維持できている。また、処理水質はSS(浮遊物)10 mg/L以下, BOD2~3 mg/L, COD(化学的酸素要求量)6~8 mg/Lで脱窒率も40~70%と良好な値が得られた。MLSS1,300 mg/L, SV(汚泥容量)3.020%, SVI150 mL/gの運転で、平均して処理水濁度20度以下の値が得られた。また、時間ごとに設定汙過流束を変化させ、下水処理場の水量変動に合わせた汙過流束1.5~4.0 m/dまでの時間変動に対応することができた。

3 埋め立て地浸出水のダイオキシン除去

3.1 ゴミ浸出水の状況

埋め立て地浸出水は、ごみ埋め立て地に雨水が浸透し、廃棄物中のさまざまな成分を溶解した後、底部に設けられた集水管からくみ上げた汚水である。これらは、併設された浸出水処理施設で処理された後、公共水域に放流される。埋め立て地浸出水中には、CODを低下させる成分や窒素成分だけでなく、焼却灰を由来とするダイオキシン類が含まれており、その毒性や環境中での残留性を考慮すると、浸出水処理工程の中で適切な処理が必要であると考えられる。ダイオキシン類の廃水基準値としては、ダイオキシン類対策特別措置法(2000年1月施行)により、10 pg-TEQ/Lが適用されている。しかし、ダイオキシン類問題に関する社会的関心は高く、さらに低濃度まで処理することが望まれている。

3.2 促進酸化によるダイオキシン除去法

ダイオキシン類の分解方法としては、促進酸化法による分解システムが開発されている(図8参照)。促進酸化法は、AOP(Advanced Oxidation Processes)法と呼ばれ、オゾ

ンに紫外線や過酸化水素などを併用することにより、酸化力の強いOHラジカル($\cdot\text{OH}$)を生成させ、ダイオキシン類を酸化分解する方法である。この方法によるダイオキシン類分解で、ダイオキシン類を環境基準値(1 pg-TEQ/L)以下に分解できることを確認している。また、このときのダイオキシン類濃度の減少は、反応時間について1次反動的に減少するという知見を得、ダイオキシン類の分解速度定数も明らかにしている。

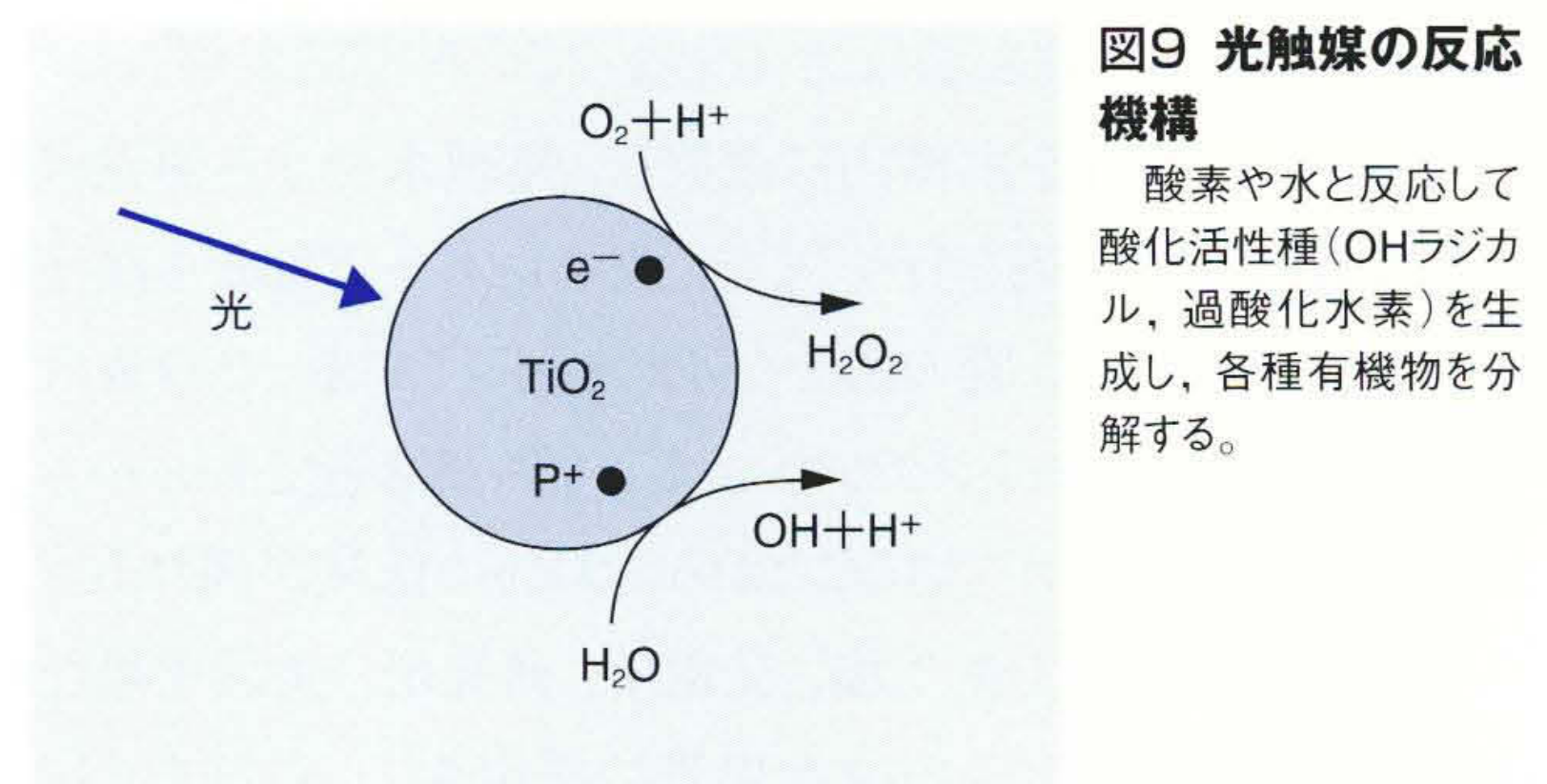
3.3 光触媒を用いた浸出水中ダイオキシン分解

光触媒によるダイオキシン分解の原理は、次のとおりである。酸化チタンの表面に光エネルギーが当たると荷電子帯にある電子が伝導帯に励起され、荷電子帯には正の電荷が残る。これを正孔と呼ぶ。電子と正孔は短い時間の間に酸素や水と結び付き、過酸化水素(H_2O_2)のほか、OHラジカルとプロトン(H^+)を生成する。生成された過酸化水素とOHラジカルは強力な酸化力を持っているため、各種化合物を酸化分解する(図9参照)。

3.4 2光触媒反応器の構成

廃棄物最終処分場の浸出水は、一般的に、生物処理によってBODやCODを基準値以下に処理された後、放流される。処理された浸出水中には、このような方法では分解できなかったダイオキシンが含まれている。

酸化チタンを用いた光触媒反応は、微量の光エネルギーを用いる反応である。処理した後の処理液で、分解できない極微量のダイオキシンや環境ホルモンなどを分解する高度処理に適用することをねらいとしている。



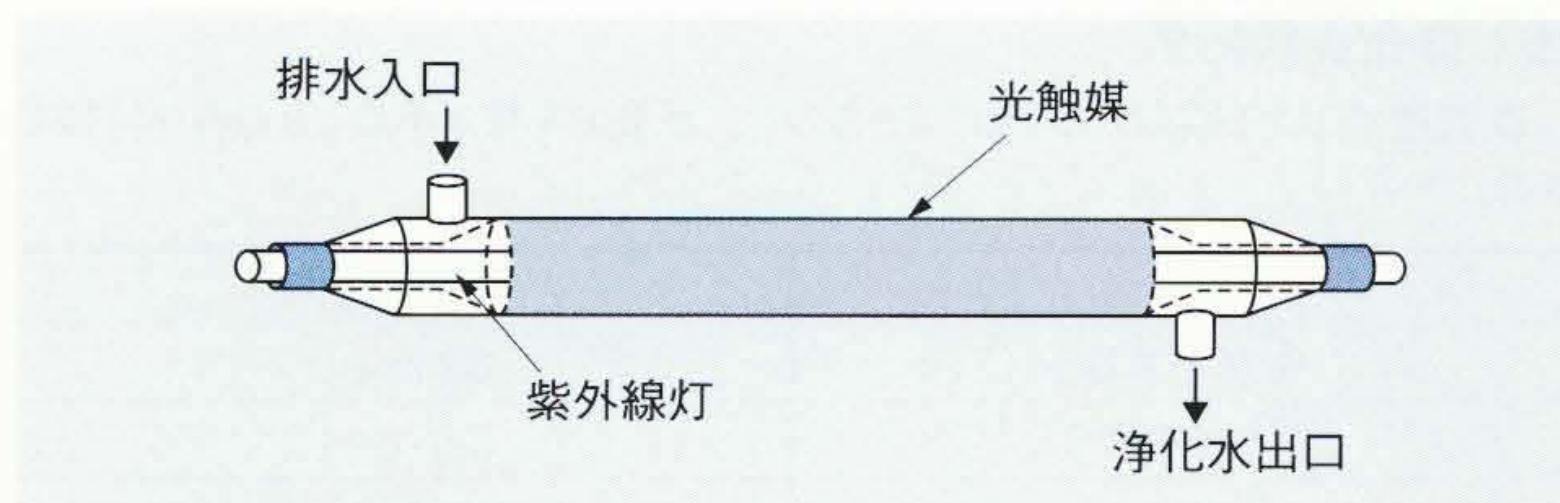


図10 光触媒反応器の構造

反応器は2重管構造で、中心部に紫外線灯を挿入し、外側の反応管の内面に光触媒を配置した。

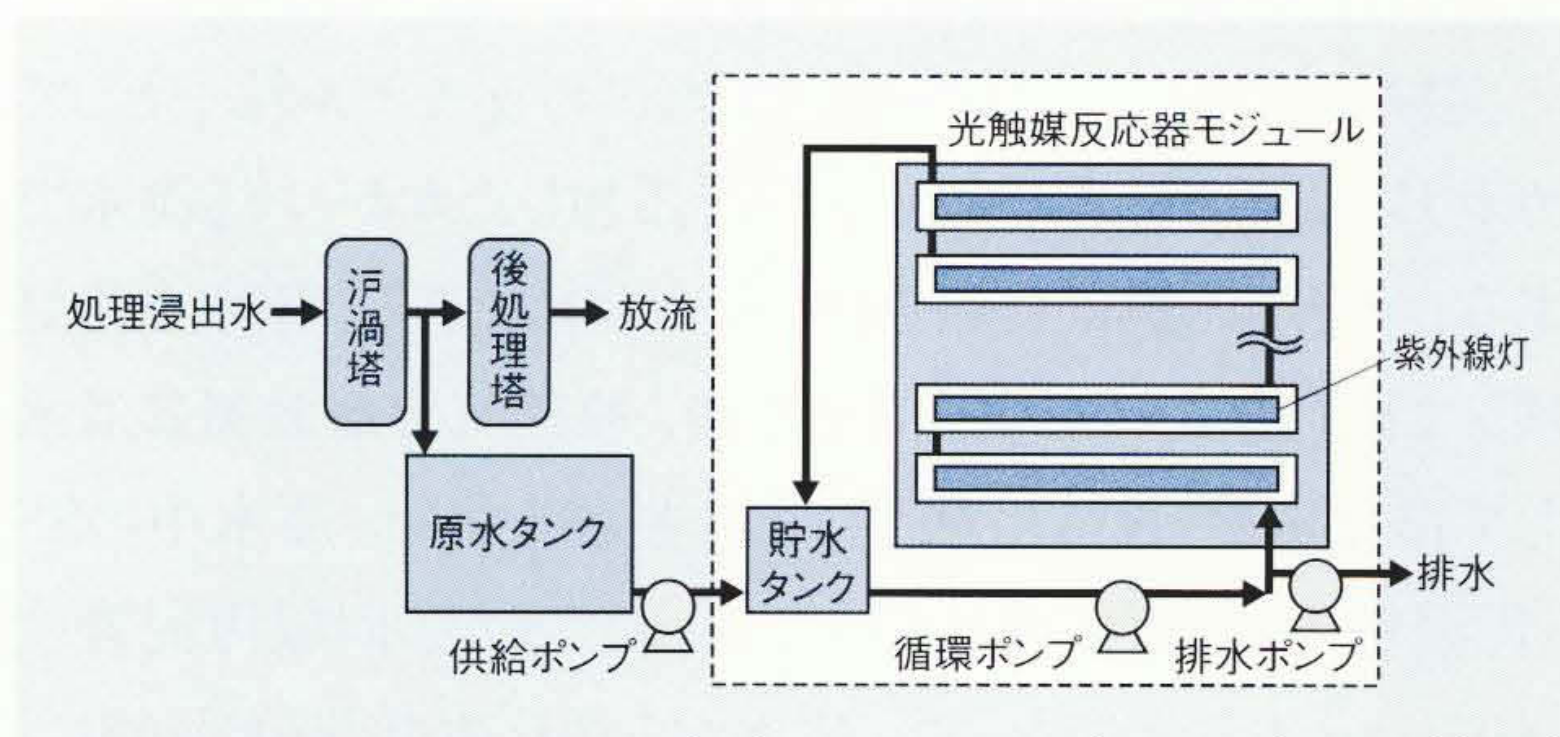


図11 光触媒反応の概略

この実証試験装置は、12本の光触媒反応器モジュールから構成されている。

反応器は二重管構造としており、中心部に紫外線灯を挿入し、外側の反応管の内面に光触媒を配置した(図10参照)。光触媒としては、排煙脱硝用と光触媒用の酸化チタンをブレンドした独自の触媒を用いた。

光源として紫外線を用いた場合、光触媒基礎実験の検討結果から、反応器モジュールは12本の構成となる。この実証試験装置の系統を図11に示す。

フィルタで分離した固形分に付着したダイオキシン(以下、SS付着ダイオキシンと言う。)と溶存ダイオキシンについて、光触媒反応器での反応時間とダイオキシンの濃度を測定した結果を図12に示す。各ダイオキシンの濃度は、反応時間が1hおよび2hとも減少しており、2h反応後のダイオキシンは80~90%が分解されている。溶存ダイオキシンとSS付着ダイオキシンの塩素数別の比較をした場合、0h、1hおよび2hのいずれについても、SS付着ダイオキシンは高塩素数のものが多く、溶存ダイオキシンは低塩素数のものが多い。

実験結果から、光触媒によってダイオキシンは90%前後分解されており、浸出水中のダイオキシン分解装置としての性能が確認されたので、実機装置の設計を完了し、製品化している。

4 直接浄化法

4.1 直接浄化法の状況

閉鎖性水域では、自然浄化機能を向上させる方式や、水質障害として発生したアオコなどを水域から除去する方法など、直接的に水域の汚濁負荷を低減する方法が採られている。

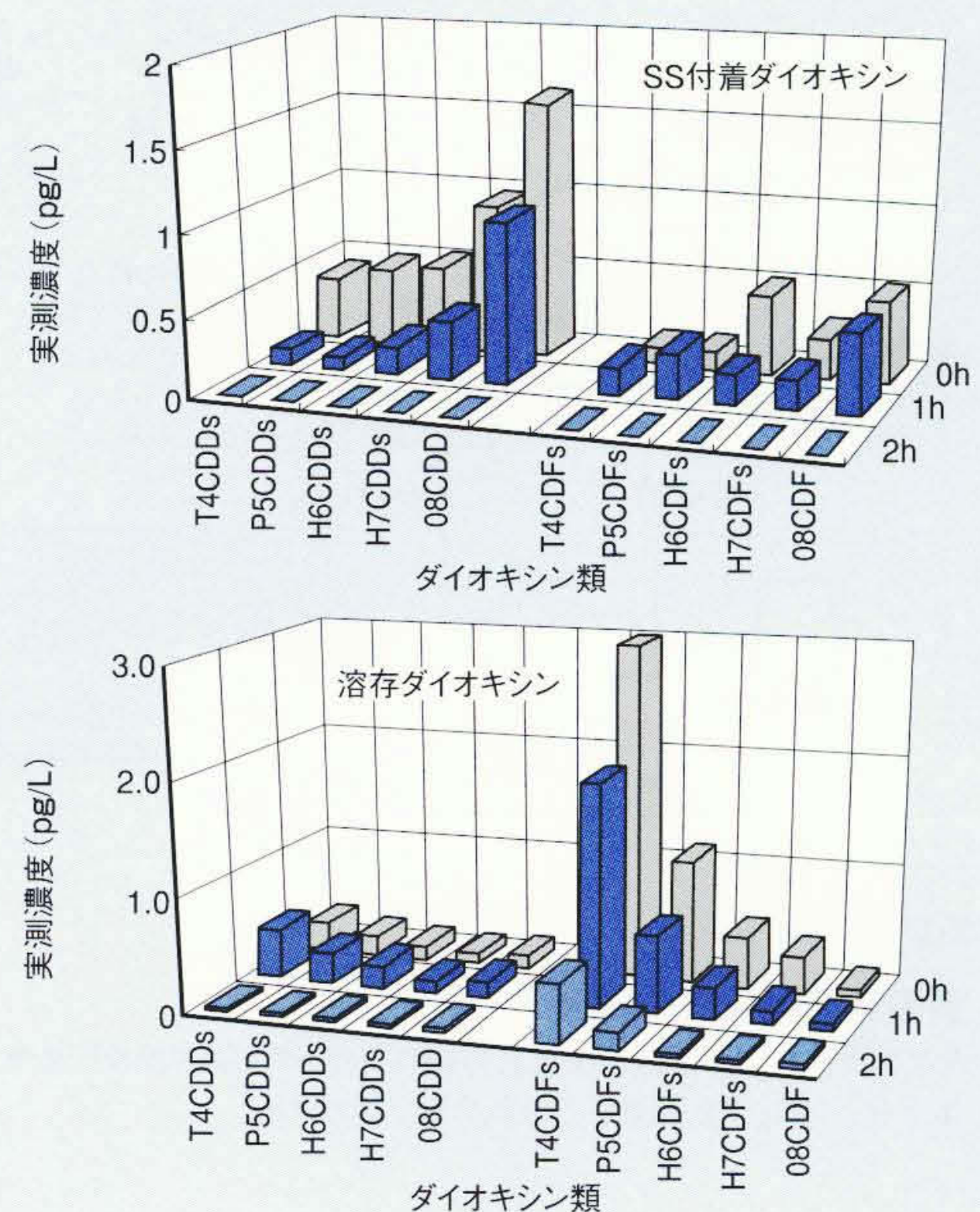


図12 SS付着ダイオキシンと溶存ダイオキシンの分解特性

SS付着ダイオキシンは高塩素数のものが多く、2時間後には90%以上分解されている。2時間反応後の各ダイオキシンは、80~90%分解されている。

る。膜分離と磁気分離を組み合わせた、アオコなどを除去する膜磁気分離装置について以下に述べる。

4.2 湖沼などのアオコ除去

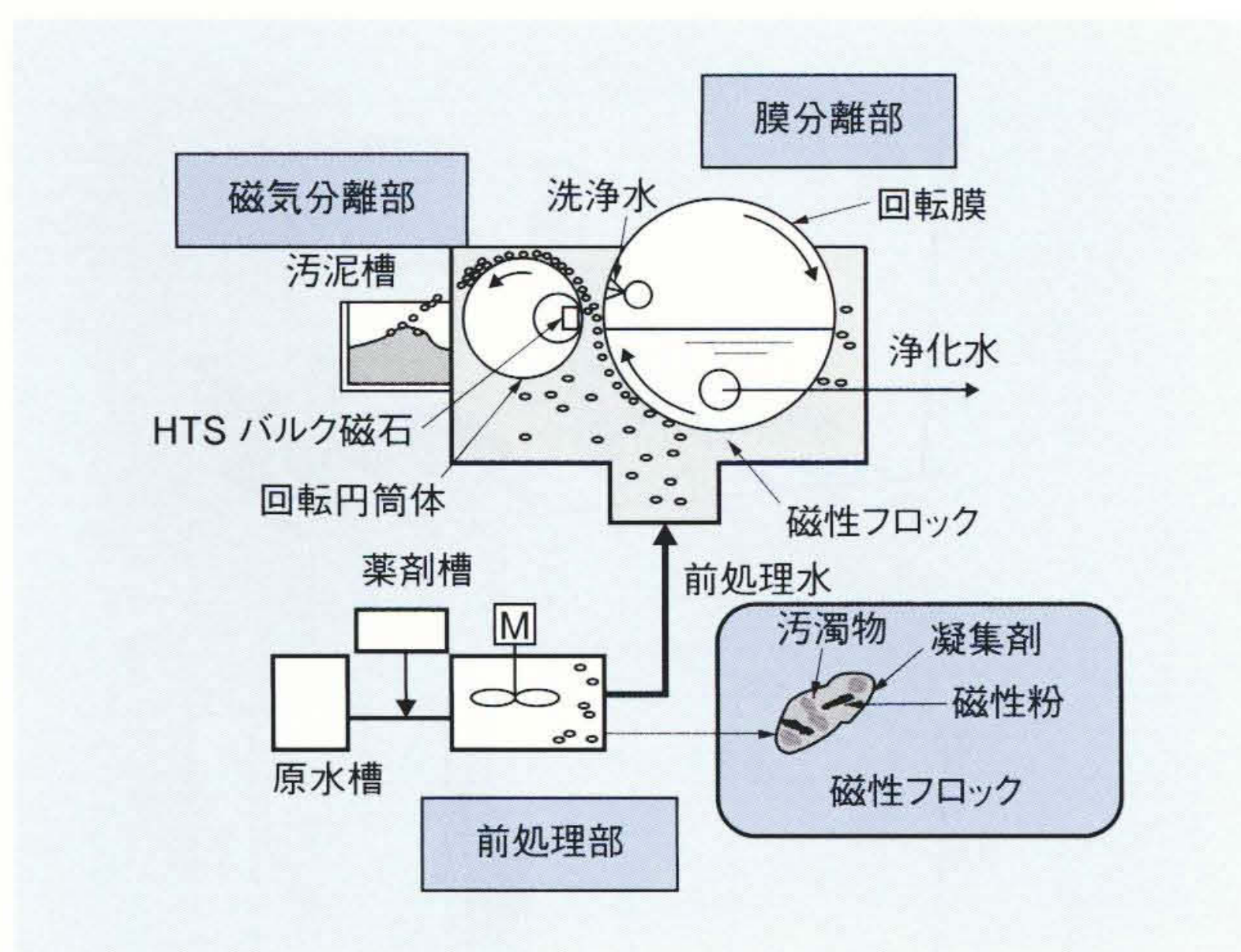
富栄養化が進んだ湖沼や河川では、水質障害が生じ、植物プランクトンなどの過剰な増殖が起きている。この増殖を起こしたプランクトンや栄養源となる水中の有機物、溶存リンを高速で除去する浄化技術が期待されている。

このため、汙過分離と磁気分離を組み合わせた膜磁気分離装置による実験により、その機能を確認した。使用した磁石は、高温超伝導(HTS)バルク磁石である。膜分離と磁気分離を組み合わせた膜磁気分離装置で、一連の浄化機能を三つに分ける。すなわち、(1) 原水中の被除去物を磁性フロック化する「前処理部」、(2) 生成した磁性フロックを膜で汉過して浄化水を得る「膜分離部」、および(3) 膜面に汉過蓄積した磁性フロックを磁気力で捕集して膜面洗浄再生するとともに、磁性フロックを高濃度汚泥として回収する「磁気分離部」の3要素である(図13参照)。

膜磁気分離装置の構造の特徴は以下のとおりである。

- (1) 磁性フロックの捕そくは1枚の細孔膜で可能であり、膜上にたい積した磁性フロックを汚泥回収用の回転円筒体表面に磁気分解、回収することで、装置構造の簡易化が図れる。
- (2) 前記の細孔膜と汚泥回収用円筒体を回転式にすることにより、連続的な浄化で汚泥を回収することができる。
- (3) 泥を磁気分離後に水面上に移動して水切りを行うことにより、高濃度な汚泥を回収することができる。

5.0 Tの磁界空間で着磁した冷凍機冷却型のHTSバルク



注：略語説明 M(モータ)

図13 膜磁気分離装置の構造

前処理水を回転膜でろ過し、膜面上の磁性フロックを膜内側から洗浄水で洗い落とす。落下後、フロックを高濃度で磁気分離、回収する。

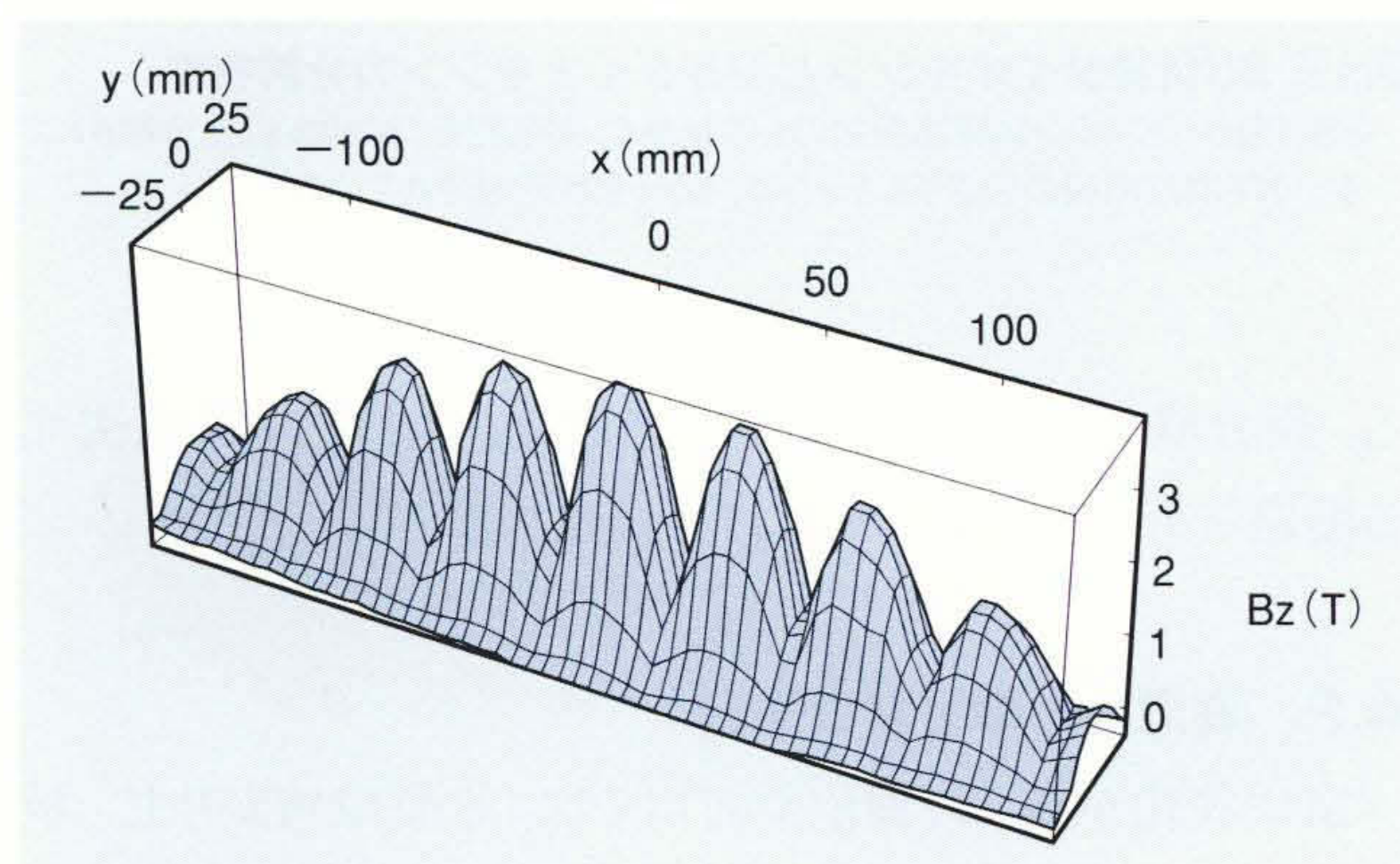


図14 HTSバルク磁石の着磁特性

バルク磁石に着磁された磁場分布が山形に形成される。冷凍機で冷却される限り、ほとんど減衰せずに高磁界が維持できる。

磁石(33 mm角, 厚さ20 mmの高温超伝導バルク体11個のうち直列冷却の中の中央部7個分)の着磁特性を図14に示す。同図には真空断熱容器壁面上に垂直な磁界分布 B_z を示しており、最大捕そく磁界は3.2 Tであった。このHTSバルクシステムを使用し、水浄化実験を行った。このとき、バルク

表1 浄化実験結果

高濃度で汚泥を回収することができるので、汚泥沈降槽が不要となる点が特徴である。

原 水	カオリン汚濁水
原水中のSS	92 mg/L
浄化水中のSS	6.8 mg/L
SS除去率	93%
回収汚泥のSS濃度	90,000 mg/L

注：略語説明 SS(汚泥粒子)

冷却温度は35 K、冷凍機の消費電力は2.8 kWであった。

実験で使用した原水は、水道水に汚泥モデル粒子としてカオリン微粒子を濃度92 mg/Lで添加したカオリン汚濁水である。使用した膜は目開き43 μ mの金網である。原水を前処理して磁性フロックを生成させた後、膜磁気分離装置に通水して浄化実験を行い、表1に示す性能を得た。原水中のSS(汚泥粒子)の除去率は93%であった。また、回収汚泥濃度は9万mg/L以上であった。原水から浄化水を得ると同時に、高濃度の汚泥を回収する時間は4～5分であった。

なお、この技術開発は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の実用化技術開発助成事業として実施したものである。

5 おわりに

ここでは、河川・湖沼の直接浄化法や、ごみ浸出水処理、下水処理を含む排水の高度処理技術を通して、水環境の改善に貢献する水処理技術について述べた。

わが国の水環境は必ずしも満足できる状態ではなく、時間の経過とともに新たな水処理の課題が発生してきている。

日立グループは、これまでに蓄積した幅広い水処理技術を持っており、さらに、さまざまな水循環のニーズに合わせた研究・開発を推進している。これらの技術を組み合わせ、個々のニーズに合った、水処理のトータルソリューションとして提案していく考えである。

執筆者紹介



宮坂邦夫

1975年日立金属株式会社入社、環境システムカンパニー 所属
現在、環境関連システムの研究・開発に従事
化学工学会会員
E-mail: kunio_miyasaka @ hitachi-metals. co. jp



小島正行

1971年日立プラント建設株式会社入社、環境システム事業本部
環境装置事業部 開発部 所属
現在、環境関連システムの研究開発に従事
E-mail: ma-kojima @ hitachiplant. co. jp



高本成仁

1974年パブコック日立株式会社入社、呉研究所 環境研究部
所属
現在、環境関連機器の開発の取りまとめに従事
化学工学会会員
E-mail: takamoto-s @ arl. bhk. co. jp



佐保典英

1971年日立製作所入社、機械研究所 所属
現在、超電導応用機器の開発に従事
日本機械学会会員、低温工学協会会員、超電導学会会員
E-mail: saho @ merl. hitachi. co. jp